
Ключові слова: теплонасосна паровиробляюча установка, робочий агент, головний дизель, низькопотенційна теплота, утилізація, водяна пара.

Kalinichenko I., Andreev A., Andreeva N.
PRODUCING STEAM OF HEAT PUMPS ON SHIPS

The possible sources of low potential heat of main engine ship with a view to utilization of the heat pump steam producing plant is analyzed. The analysis of possibility of providing by the water steam of ship users in the working mode of ship at the use of heat pump steam producing plant to utilizing the low potential second thermal resources of main diesel engine is conducted. Using a heat pump steam producing plant as an alternative source obtain of water steam in the ship would, firstly, utilizing a discharged heat of diesel, thereby reducing thermal environmental pollution, and secondly, to refuse to work the auxiliary boiler on the navigation mode of the ship and therefore save non-renewable sources.

Keywords: the heat pump steam producing plant, working agent, main diesel, low potential heat, utilization, water steam.

УДК 621.793.620.172

Кожевникова Е.Е, Агеев М.С., Чиграй С.Л.

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА СУДОВЫХ НАСОСОВ
НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Рассмотрены причины выхода из строя судовых насосов, которые являются самыми распространенными механизмами на судах. Исследованиями износа деталей судовых насосов установлено, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее распространённых и часто выходящих из строя деталей, таких как валы. Для выбора метода восстановления и повышения ресурса валов СН установлены причины и характер их повреждений, основные виды износа, влияющие на выбор способа восстановления. Представлена краткая характеристика существующих методов восстановления. Предложено повышать износостойкость и ресурс валов СН путем восстановления их рабочих поверхностей комбинированным способом нанесения защитных покрытий, который заключается в электроконтактном припекании (ЭКП) предварительно сформированных газопламенным напылением порошковых слоев из самофлюсующихся сплавов на основе никеля.

Ключевые слова: судовые насосы, валы судовых насосов, ресурс, восстановление, износ, комбинированный метод нанесения покрытия. электроконтактное припекание, газопламенное напыление.

Состояние проблемы. Надежность и технико-экономическая эффективность судовых систем (СС) в значительной степени определяются надежностью и эффективностью насосов, являющихся самыми распространенными механизмами на судах [1-3]. Судовые насосы (СН) предназначены выполнять следующие функции [4-5]: поддерживать непрерывно работу главной энергетической установки и различных вспомогательных систем; выполнять хозяйственные нужды судна; удалять из судна сточные воды, заполнять

балластом специальные цистерны и удалять его; оказывать помощь при выполнении грузовых операций; обеспечивать безопасность судна.

Надежность и эффективность работы насосов судовых машин и механизмов (СММ) в значительной степени зависит от того, насколько реально можно учитывать негативные последствия внешнего воздействия, нагрузок на детали насосов и учитывать воздействия на процесс их изнашивания максимального количества значащих факторов в процессе эксплуатации [4-5]. На долговечность судовых насосов влияет ряд факторов (рис.1), в частности: его характеристики (давление, напор, скорость вращения и биение вала), свойства герметизирующей среды (ресурс уплотнения, износостойкость пары трения) и др.

Ресурс судовых насосов определяется условиями их эксплуатации: диапазоном режимов работы, температуры, давления, загрузок [44-55]. На основании анализа условий эксплуатации деталей СН сделан вывод, что главной причиной большинства их эксплуатационных отказов, снижения долговечности и ресурса является поверхностное разрушение, и в первую очередь в результате изнашивания и коррозии [4-5].

Преждевременный износ деталей насосов недопустим, так как в этом случае снижается их работоспособность, что, в свою очередь, может создать чрезвычайные обстоятельства для судна, находящегося в автономном плавании.

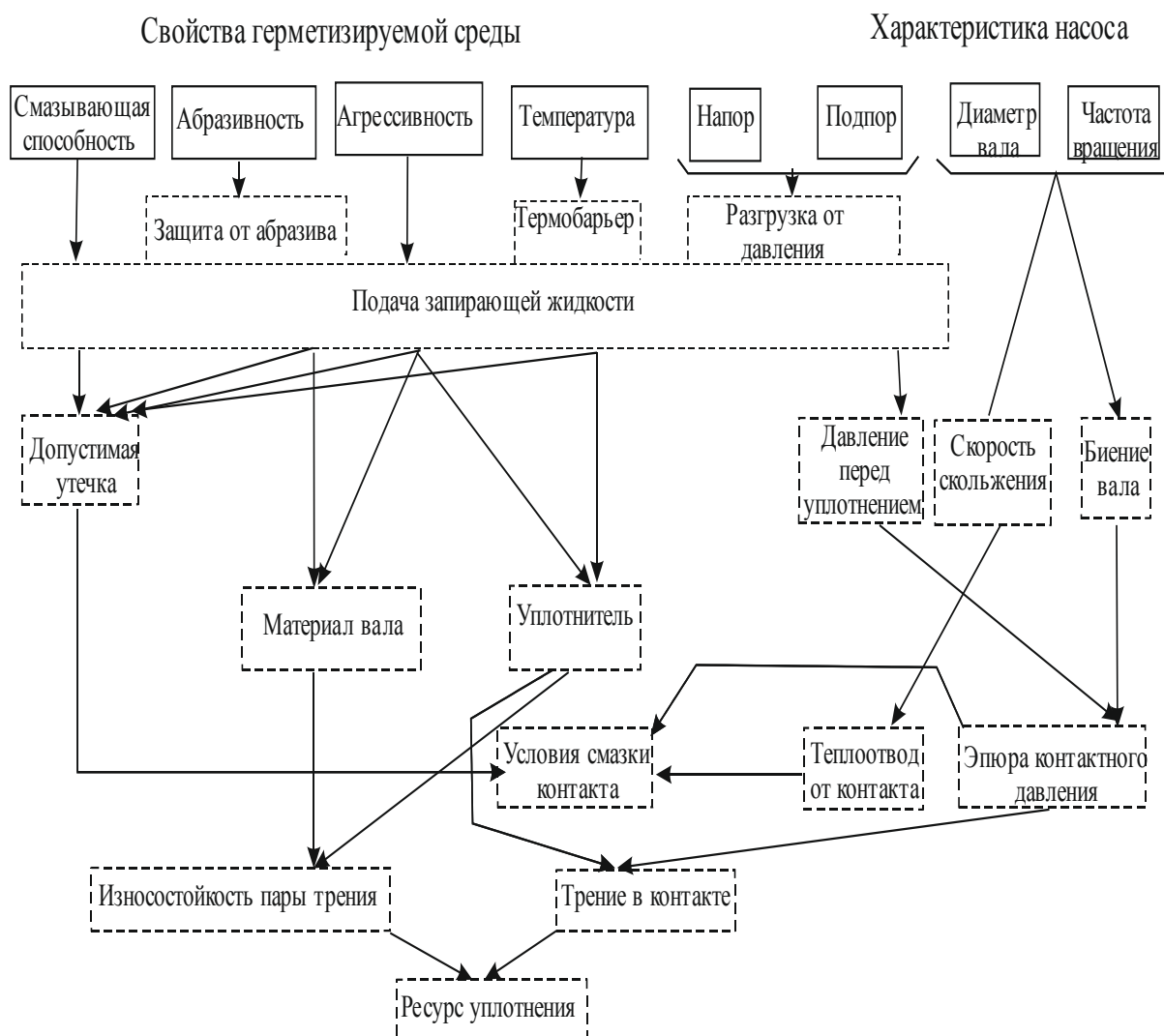


Рис. 1. Факторы, влияющих на долговечность судовых насосов

Причины снятия судовых насосов из эксплуатации обусловлены недостаточной прочностью поверхностей деталей и их низкой износостойкостью.

Постановка задачи. Опыт эксплуатации судов показывает, что срок службы насосов в среднем в 1,5-2 раза меньше нормативного [1]. Увеличение ресурса СН представляет собой важную проблему, которая неразрывно связана с необходимостью определения повреждений и износов их деталей [1-5].

Результаты исследований. С целью обеспечения деталей СН требуемыми показателями качества в процессе эксплуатации необходимо своевременно выявить их возможные дефекты, устранить их и принять меры по их предупреждению. Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям при определении технического состояния насосов в процессе выполнения капитального ремонта на судоремонтных предприятиях показал, что по причине износа и коррозии из строя выбывает до 60%, а по причинам поломок (включая усталостное разрушение) – 20...30% деталей (рис.2).

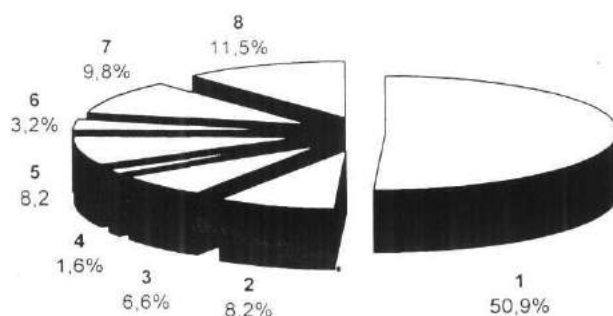


Рис. 2. Распределение видов дефектов деталей судовых насосов:

1 – контактные повреждения, износ, коррозия; 2 – забоины, вмятины; 3 – выкрашивание; 4 – деформация; 5 – выпучивание; 6 – повреждения при демонтаже; 7 – трещины; 8 – исчерпание ресурса.

Значительное количество продефектованных деталей бракуется по причине недопустимо износа, коррозии и отсутствия технологий их восстановления. Повреждения из-за износа вызваны несовершенством применяемых технологий обработки рабочих поверхностей деталей [6]. Такое положение дел приводит к появлению дефицита запасных частей, увеличению стоимости и продолжительности ремонта СН.

Ремонт судовых насосов составляет основу эксплуатационного обеспечения их надежности, позволяет повысить ресурс деталей СН и включает комплекс операций по восстановлению их работоспособности (исправности), которая характеризуется структурными (физико-механические свойства материалов деталей) и диагностическими (температура, вибрации, давление и др.) параметрами технического состояния [2-3,6]. Использование судовых насосов требует их рациональной эксплуатации, умения оценивать износы их деталей, своевременно производить ремонт. Для этого необходимо правильно прогнозировать работоспособность деталей, лимитирующих ресурс СН, т.к. по статистическим данным до 30% действительного годового фонда времени работы уходит на их ремонт [2-3, 6]. Исследованиями износа деталей судовых насосов [4-6] установлено, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее распространенных и часто выходящих из строя деталей, таких как валы (рис.3).

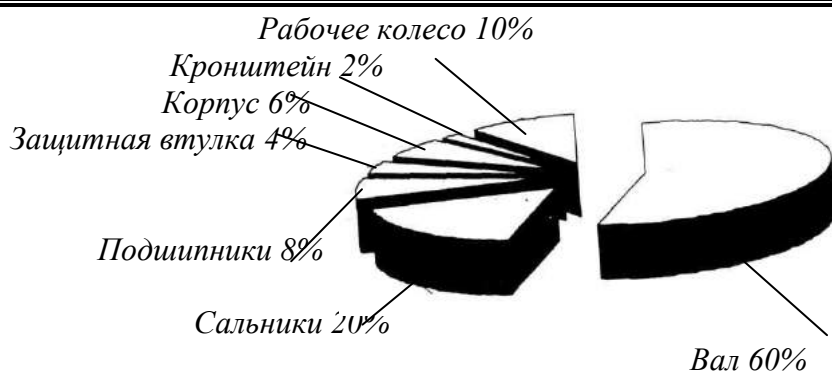


Рис. 3. Распределение дефектов по элементам конструкции насоса

Для выбора метода восстановления и повышения ресурса вала СН необходимо установить причины и характер его повреждений, основные виды износа, влияющие на выбор способа восстановления. Анализ состояния валов судовых насосов свидетельствует о том, что они выходят из строя по причине различных поверхностных повреждений (табл. 1) [4-6]. Ресурс вала определяется наработкой до достижения предельного износа. Величина предельно допустимого износа вала определяется либо по функциональному критерию, либо по экономическому критерию. Функциональным критерием является нарушение прочности вала. Экономический критерий оценки предельно допустимого износа вала – возможность его восстановления. Восстановление представляет собой отдельно функционирующую систему, в рамках которой выполняются следующие процессы: оценка состояния детали (дефектация), проектирование технологического процесса (ТП) восстановления, непосредственное восстановление детали [7-9]. Большинство валов судовых насосов восстанавливаемые и ремонтируемые. Ремонтируемые валы насосов подлежат восстановлению. Неремонтируемые валы не подлежат восстановлению. Ремонтопригодность вала определяет степень простоты или сложности выполнения ремонта. Качественным показателем ремонтпригодности вала является ее восстанавливаемость, обеспечивающая придание валу в процессе ремонта номинальных или ремонтных размеров [7-9].

Таблица 1

Классификация повреждений судовых валов

Признак	Варианты
Тип повреждения	Коррозионный, статический, динамический
Вид повреждения	Макротрещины, микротрещины, разрушение
Место расположения дефекта	Место под подшипник, место под уплотнение крышки подшипника, место под рабочее колесо, место под сальниковое уплотнение
Число валов с повреждениями	Одиночное (менше 5%); Значительное (10...20%); Массовое (50...60%)
Причины, которые вызвали образование повреждений	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Конструктивные (недостатки конструкции, вызывающие повышенный уровень напряжений, температур, неправильный выбор материала вала и покрытия и требований к ним) ✓ Технологические (недостатки технологии механической обработки, контроля вала согласно чертежа, технологических процессов нанесения защитных покрытий) ✓ Производственные (отклонения от требований чертежа вала по геометрии, по качеству материала, некачественное изготовление конструктивных элементов, что может влиять на уровень статических и динамических напряжений в детали) ✓ Эксплуатационные (нарушение режимов эксплуатации, установленных ТУ; наличие посторонних предметов в перекачиваемой жидкости и присутствие среды, вызывающей коррозионный износ детали)
Степень влияния на безопасность дальнейшей эксплуатации вала	Не влияет на ресурс Ограничивает срок дальнейшей эксплуатации Требует срочной замены вала

Одни и те же валы в зависимости от наличия дефектов могут быть невосстанавливаемые, например, вал с трещинами, и восстанавливаемыми – эти же валы без трещин. Чаще всего восстанавливается не весь вал, а его поверхность или отдельные элементы. Виды восстановления классифицируют в соответствии с видами дефектов и их последствиями. Для устранимых дефектов можно выделить следующие виды восстановления [9-15]: различными способами нанесения покрытий, поверхностно-пластическим деформированием; способами механической обработки, балансировкой, правкой; способами сварки, термической и химико-термической обработки. Валы чаще всего восстанавливают путем проточки рабочей поверхности в комбинации с предшествующей наплавкой или другим методом нанесения защитного покрытия или без покрытия. Основным назначением процесса восстановления валов является восстановление их геометрической формы, механической прочности, износостойкости. В судоремонтном производстве валы СН восстанавливают механической и слесарной обработкой, сваркой и наплавкой, пластическим деформированием, электролитическим наращиванием, напылением, электрофизическими способами обработки и т.д. [6, 10-11].

В ремонтном производстве Украины наиболее часто валы восстанавливают способом ремонтных размеров [6-9]. При способе ремонтных размеров с изношенной части вала (например, шейка) снимается минимально необходимый слой металла с целью устранения отклонений от правильной геометрической формы. Полученный после обработки новый размер называется ремонтным. Способ ремонтных размеров наиболее экономичен вследствие простоты (весь ремонт сводится к механической обработке) и широко применяется в ремонтном производстве. Его недостатки: предварительная обработка изношенных поверхностей деталей; окончательная обработка поверхностей; усложнение технологического процесса ремонта из-за многообразия деталей различных ремонтных размеров; увеличение складских запасов деталей.

Сварка – наиболее распространенный способ восстановления деталей на судоремонтных предприятиях [6-11,16-17]. Сварка служит для восстановления деталей с трещинами, пробоинами, раковинами от коррозии. Выбор способа восстановления или ремонта деталей СН сваркой обусловлен материалом деталей, их конструкцией, размерами восстанавливаемых поверхностей. Все виды сварки подразделяются на сварку плавлением и сварку давлением [16-17]. С помощью сварки плавлением устраняют такие дефекты, как трещины, износы поверхностей отверстий, сколы, пробоины. Широко применяются электродуговая и газовая сварка. На их долю приходится 35...65 % общей трудоемкости сварочных работ. В ремонтном производстве используются контактные методы сварки для приварки накладок и при заделке трещин, приварки элементов и частей, компенсирующих износ деталей [16] и сварка трением [17].

В настоящее время существуют различные способы восстановления путем нанесения покрытий [18-20], многообразие которых объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность: каждый способ имеет свою область применения; один и тот же материал покрытия может быть нанесен разными способами; большинство способов можно рассматривать как альтернативные. В отечественной практике восстановления изношенных деталей СММ или изготовления новых используют методы нанесения защитных покрытий наплавкой, напылением, припеканием и др. [9,11,13,21-34]. На судоремонтных предприятиях все шире применяется восстановление поверхностей деталей нанесением покрытий электродуговой наплавкой, наплавкой в среде углекислого газа, автоматической наплавкой под слоем флюса, вибродуговой наплавкой, хромированием, железнением, электроконтактной приваркой металлической лентой, газотермическими способами напыления (плазменным, газопламенным, электродуговым) [6, 11, 21].

Наплавочные работы составляют 77% общего объема работ по нанесению покрытий при восстановлении деталей машин: наплавка под слоем флюса – 41%, вибродуговая – 15%, наплавка в среде защитных газов – 26%, наплавка порошковой проволокой без защитной среды – 13%, плазменная – 24%, электрошлаковая – 2% [6,11,20,22]. Несмотря на

разновидность технологических схем наплавки и их распространение в ремонтном производстве, большинство их в полной мере не обеспечивают формирования бездефектной структуры наплавленного слоя из-за большого тепловыделения в деталь. В детали после наплавки возникают закалочные структуры, приводящие к нарушению геометрической формы, возникновению микротрещин и затрудняющие обработку резанием. Наплавка покрытий больших толщин требует снятия значительных припусков при финишной механической обработке. Методы наплавки не обеспечивают сохранение исходных свойств материала покрытий, вносят существенные изменения в структуру материала упрочняемой детали. Связано это с тем, что материал покрытия нагревается до температур, превышающих его температуру плавления. При этом неизбежно выгорает часть легирующих элементов, меняется кристаллическая структура металлов, она становится крупнозернистой. При нанесении покрытий методами наплавки сложно получить слой металла с содержанием легирующих элементов более 35 ... 40% через разбавление наплавленного металла основным, выгорание легирующих элементов. Высокотемпературное нагревание, присущее большинству методов наплавки, приводит к потере первоначальных свойств компонентов для износостойкой наплавки. Твердость полученных покрытий оказывается значительно ниже, чем у исходных материалов, и в итоге невозможно получение эксплуатационных свойств восстановленных деталей превышающих их исходные свойства. При этом наблюдаются большие деформации наплавленных деталей [29-30]. В работах [27] показано, что восстановление валов наплавкой не обеспечивает их ресурс на уровне новых деталей. Главным недостатком методов наплавки остаются «холодные» и «горячие» трещины в зоне термического влияния, которые резко снижают ресурс восстанавливаемой детали. Наплавка требует финишную механическую обработку посадочных мест для необходимого размера и чистоты поверхности [27].

Наиболее распространенными способами нанесения износостойких покрытий на поверхности деталей является напыление [21-27]. Основные достоинства напыления как способа нанесения покрытий при восстановлении деталей – относительная простота используемого оборудования; возможность нанесения покрытий как на локальные участки поверхности деталей любой формы, так и на большие площади толщиной от 0,03 мм до нескольких миллиметров. С помощью напыления можно восстанавливать изношенные плоские, наружные и внутренние цилиндрические поверхности деталей, включая такие сложные, как валы, заделывать трещины и т.д. [24, 27]. В практике восстановления изношенных деталей применяются методы газотермического напыления покрытий (ГТН): плазменное [20-24], детонационное [25], газопламенное (ГПН) [25, 31-32] и электродуговое (ЭДН) [26-27] напыление (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика методов газотермического напыления

Параметр	Способ напыления			
	Газо-пламенный (ГНП)	Плазменный	Детонационный	Электродуговой (ЭДН)
Производительность процесса, кг/ч	1÷10	0,5÷8,0	0,1÷6,0	3÷36
Стоимость 1 ч работы установки, у.е.	2,60	9,06	8,71	4,24
Коэффициент использования напыляемого материала	0,8÷0,95	0,7÷0,9	0,3÷0,6	0,8÷0,95
Площадь покрытия образца, напыленного за 1 ч работы, м ²	0,45÷1,00	0,20÷0,50	0,10÷0,30	6,00÷8,00
Температура частиц материала, К	До 2000	До 3000	До 3000	до 2000
Скорость частиц материала, м/с	20÷180	50÷600	350÷1000	50÷240
Прочность сцепления $\sigma_{сц}$, МПа	До 50	До 120	До 200	До 40
Пористость, %	16,0÷35,0	3,0÷4,0	0,5÷1,0	10,0÷30,0

По мнению большинства исследователей [20-27, 31-32], методы ГТН по сравнению с другими методами нанесения покрытий имеют ряд преимуществ, которые способствуют более широкому внедрению их в производство: высокая производительность, управляемость процессов, универсальность используемых материалов (нанесения материалов различных составов), возможность получения слоев в большом диапазоне толщин с широким спектром свойств и другие. Затраты на восстановление деталей составляют 15...20% по сравнению с вновь изготавливаемыми деталями, а износостойкость повышается в 2,5...3 раза. Они являются одними из наиболее гибких способов восстановления рабочих поверхностей и увеличения срока службы деталей. Методы ГТН – самые массовые технологии, применяемые в ремонте [6,9,11,13-15]. Производимые отечественные и зарубежные установки газотермического напыления (ГТН) и напыляемые материалы, опубликованные рекомендации по ГТН, дали возможность решать ряд вопросов, связанных с ремонтом, восстановлением и увеличением срока службы деталей разного назначения. К преимуществам напыления, особо ценным для ремонтного производства, относится возможность осуществления процесса в различных производственных условиях (на ремонтных предприятиях, в ремонтных мастерских).

Для восстановления шеек вала эффективно плазменное напыление [22-24]. Износ валов с плазменным покрытием на 18...24 % меньше, чем валов без покрытий. Недостатки плазменного напыления – шум при работе и интенсивное ультрафиолетовое излучение, высокая стоимость плазмообразующих газов и оборудования. Затраты на восстановление деталей составляют 15...20% по сравнению с вновь новыми деталями. В условиях сложившейся экономической ситуации в Украине обеспечение ремонтных предприятий недорогими сменно-запасными частями остается проблематичным, поэтому возрастает востребованность в ремонтных технологиях, особенно, таких как электродуговое напыление (ЭДН) [26-27].

Целесообразность применения ЭДН при восстановлении валов обеспечивается его такими преимуществами [26]: доступностью источника энергии; технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей; высокой производительностью нанесения покрытия (до 20 кг/час стали); получением покрытий толщиной от 0,1 до 10 и более миллиметров; износостойкостью в 1,5-1,8 раза выше закаленной стали 45; отсутствием значительного термического влияния на деталь (температура нагрева детали 100-150° С); отсутствием деформации деталей, возможностью нанесения покрытия на поверхности деталей из различных материалов (сталь, чугун, и др.); получением покрытий из различных материалов проволоки с заданными свойствами; низкой себестоимостью нанесения покрытия (в 1,4-1,8 раза ниже наплавки). В работе [26-27] приводятся сведения о преимуществе ЭДН перед наплавкой по трудоемкости восстановления изношенных шеек вала и расходу электродного материала: продолжительность наплавки 1ч 10мин, расход проволоки 1,3кг, продолжительность ЭДН – 24 мин, расход проволоки – 0,95 кг. Напыленные шейки валов при капитальном ремонте могут быть перешлифованы под соответствующий ремонтный размер. Этого делать, однако, не рекомендуется, так как напыленный слой в процессе эксплуатации уменьшает свою износостойкость, вследствие того, что его поры оказываются забитыми продуктами износа и другими загрязнениями. Поэтому необходимо удаление старого слоя и нанесение нового [27]. Использование тепла электрической дуги для плавления электродов позволяет внедрять этот энергосберегающий метод в условиях как ремонтных предприятий, так и небольших мастерских [26]. Электродуговое напыление применяют для ремонта валов судовых насосов [6,11,21]. Кроме положительных качеств ЭДН имеет и недостатки [22,26]: повышенное окисление металла; наличие пористости; недостаточная адгезионно-когезионная прочность покрытия; невысокая твердость покрытий, являющаяся причиной выгорания углерода в процессе напыления, находится в пределах 35-50 HRC_э, что существенно снижает их износостойкость; возможность появления в покрытии трещин и отслоения по причине наличия остаточных внутренних напряжений в результате охлаждения расплавленных частиц металла распыляющим сжатым воздухом. Отмеченные

выше недостатки ЭДН ограничивают эффективность и область его применения для повышения ресурса валов СН.

При выборе способа ГТН необходимо учитывать основные условия формирования качественных покрытий [24]: термические воздействия на деталь должны полностью предотвращать фазовые или структурные превращения в основном металле; доля участия основного металла в покрытии должна быть близка к нулю; в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, которые способны изменить ее структуру и фазовый состав. С позиции этих условий перспективно использование газопламенного напыления.

Газопламенным (ГПН) напылением наносится более 75% покрытий [31-32]. Это связано с тем что, среди способов газотермического напыления оно является самым дешевым и простым методом нанесения покрытий, которые не требуют применения высокостоимостного оборудования и обладают технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей. Этот метод наиболее эффективен и экономичен для восстановления деталей в условиях как ремонтных предприятий, так и небольших мастерских. К недостаткам ГПН следует отнести: недостаточно высокую прочность сцепления покрытия с металлом восстанавливаемой детали, значительную пористость слоя, значительные потери металла при распылении, особенно при восстановлении малогабаритных деталей [31-32].

При выборе процессов восстановления необходимо снижать температуру нанесения покрытий [24] и учитывать следующие положения: во-первых, расплавление основы и покрытия в процессе восстановления нежелательно, так как приводит к изменению химического состава и свойств материалов покрытия и детали, и, в результате, определяет необходимость использования ряда технологических мер; во-вторых, протекание процессов кристаллизации наплавленного металла в свободных условиях без использования внешнего формирующего механического фактора обуславливает образование в покрытии сварочных дефектов; в-третьих, тепловой режим нанесения покрытий на восстанавливаемые поверхности деталей различных размеров и форм должен обеспечивать благоприятный характер распределения остаточных напряжений. В частности, в покрытии и в зоне соединения его с восстанавливаемой поверхностью детали желательно образование сжимающих остаточных напряжений, которые способствуют повышению сопротивления усталости; в четвертых, длительность процесса нанесения покрытий должна быть минимальной, чтобы его структура не претерпевала нежелательных изменений;

Вышеприведенным положениям отвечают электроконтактные методы восстановления (наварка и припекание), к достоинствам которых следует отнести минимальные тепловложения и незначительное расплавление материала, что исключает термическое деформирование восстанавливаемых деталей [28-30]. В таблице 3 приведены характеристики (энергоёмкость, зона термического влияния и др.) этих методов в сравнении с другими методами восстановления.

Технико-экономические показатели процессов восстановления

Технологический Процесс	Энерго-емкость, квт·ч/кг	Скорость нагрева, град/с	Зона термического влияния мм	Производительность, кг/час	Себестоимость, грн/кг
Газопламенная наплавка	12-25	до 10	25-30	0,5-1,0	10-15
Электродуговая наплавка под слоем флюса	1,5-2,0		4-10	до 8	7-9
Наплавка в среде CO ₂	1,0-1,5	-	2-8	5-6	6-7
Индукционная наплавка	0,6-0,7	до 10 ²	-	7-8	5-7
Электроконтактное припекание порошков	0,3-0,4	10 ³ -10 ⁴	0,2-2,0	6-9	3-5

Электроконтактные методы восстановления [28-30] позволяют наносить покрытия толщиной до 3мм и более. При этом они обеспечивают получение практически беспористых покрытий с прочностью сцепления 150-220 МПа. Эти методы характеризуются высокой производительностью и низкой энергоемкостью процесса нанесения покрытия, отсутствием необходимости в использовании защитной атмосферы, отсутствием светового излучения и газовой выделения. Суть процесса заключается в формировании покрытия, находящегося под давлением, между роликом-электродом и деталью, через которые пропускают электрический ток. Нанесение покрытий в твердой фазе позволяет сохранить в покрытии основные функциональные свойства, присущие исходному материалу. Использование электроконтактного нагрева вместо технологий напыления и наплавки позволяет значительно повысить качество покрытий, производительность их нанесения, снизить энергоемкость технологий, улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих. Малая зона термического влияния вследствие короткого времени нагрева позволяет использовать электроконтактный нагрев при нанесении покрытий на детали низкой жесткости и с малой толщиной основания (детали типа «вал», трубчатые детали). Технология обеспечивает минимальные припуски на финишную механическую обработку при снижении на порядок энергозатрат в сравнении с традиционной наплавкой [28-30]. Таким образом, в целях повышения ресурса насосов судовых систем путем восстановления их валов нанесением защитных покрытий целесообразно использовать электроконтактные методы с минимальной зоной термического влияния, что позволит исключить термическое деформирование восстанавливаемых валов.

Основной вопрос в технологии восстановления цилиндрических поверхностей деталей типа «вал» электроконтактным методом – это способ доставки материала покрытия к восстанавливаемой поверхности детали, его химическое и физическое состояние. Можно в качестве способа предварительной доставки и предварительного формирования слоя порошка на цилиндрической поверхности восстанавливаемой детали использовать газопламенное напыление, как наиболее простой в реализации и дешевый способ нанесения покрытий. Газопламенный метод напыления покрытий отличается: относительной простотой и низкой стоимостью оборудования, небольшими его габаритами; легкостью и простотой обслуживания, что позволяет использовать его там, где требуется соблюдение непрерывности и стабильности технологического процесса, в том числе и для крупногабаритных деталей [31-32]. В процессе ГПН напыляемый материал подают через центральный канал соплового наконечника, снабженного отверстиями для горения рабочей

газовой смеси, расположенными вокруг центрального канала. Попадая в кольцевое пламя, материал распыляется потоком сжатого газа (азота, воздуха), истекающего концентрично сопловому наконечнику.

Таким образом, мы предлагаем для восстановления валов судовых насосов комбинированный метод нанесения покрытия, заключающийся в сочетании газопламенного напыления и электротроконтактного припекания (рис. 4). Такая комбинированная технология не требует дополнительного дорогостоящего оборудования и операций, что предопределяет снижение стоимости процессов восстановления. Валы СН целесообразно восстанавливать самофлюсующимися твердыми сплавами на основе никеля, так как восстанавливая валы СН нам надо не только повысить их износостойкость, но и коррозионную стойкость.

Для реализации проведенных исследований был разработана комбинированная технология восстановления вала Н13.550.51.150-03 СН ВКС2/26. Насосы вихревые типов ВКС2/26 устанавливаются в машинных и котельных отделениях судов и используются на судах морского флота с неограниченным районом плавания и на судах внутреннего и смешанного (река-море) плавания. В комплект быстроизнашивающихся деталей насоса ВКС входят: вал Н13.550.51.150-03 (масса 2,32 кг); колесо рабочее Н48.605.01.002 (масса 1,2 кг); два подшипника 306 ГОСТ 8338-75 (масса 0,35 кг); набивка многослойного плетения марки АП-31 8x8 ГОСТ 5152-84 (0,6 м массой 0,35 кг).

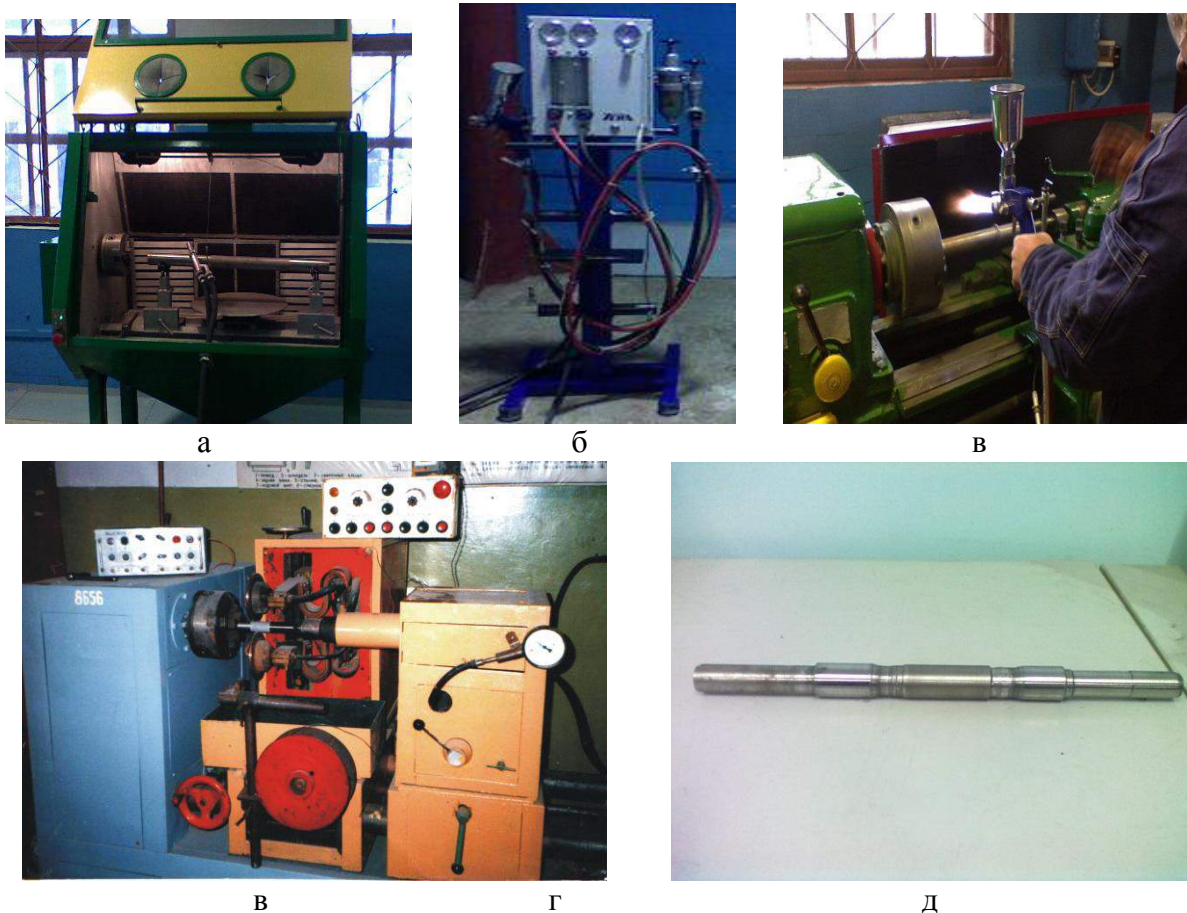


Рис.4. Комбинированный метод восстановления вала судового насоса:

а) предварительная обработка поверхности (дробеструйная); б) оборудование для ГПН (тераспылительный пистолет с блоком управления подачи рабочих газов; в) процесс газопламенного напыления; г) электротроконтактное припекание; д) восстановленные поверхности вала с покрытием после обработки.

Восстановленные поверхности вала после припекания обкатывают роликами, не дав детали остыть (теплое ППД), при давлении не более 20 МПа (рис.4,г) с целью уменьшения

припуска на обработку. После термомеханической обработки при необходимости используют операцию чистового шлифования. Трудоемкость работ по обработке восстановленных поверхностей уменьшилась на 30% по сравнению с наплавкой и напылением. Лабораторные и стендовые испытания валов СН показали, что износостойкость восстановленных поверхностей в 2,5-5 раза выше, чем поверхностей, восстановленных по традиционной технологии газопламенного напыления, и в 1,5-1,7 раза – по сравнению с новыми валами. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны: практические рекомендации для восстановления вала Н13.550.51.150-03 судового насоса ВКС 2/26; которые могут быть использованы на судоремонтных предприятиях Украины. Предлагаемый процесс восстановления валов СН позволяет: восстанавливать не только валы судовых насосов, но и детали типа «вал» СММ и любых транспортных средств.

Выводы. В настоящее время в Украине на судоремонтных предприятиях реальный ресурс валов СН после их ремонта составляет 20-25% ресурса новых деталей, хотя должен быть не ниже 50%. Развитие и внедрение ремонтных технологий СН сдерживается отсутствием специализированного оборудования и материалов для ремонтных работ и низким их качеством. Особое внимание следует уделить оснащению судоремонтного производства методами, технологиями и оборудованием для восстановления деталей. Усовершенствование существующих и разработка простых в эксплуатации и дешевых технологий восстановления деталей судовых насосов (СН) позволит увеличить их ресурс и в значительной мере уменьшить поставки запасных частей по наиболее дорогостоящим, металлоемким и дефицитным деталям, в том числе импортного производства, для замены изношенных деталей и потерь от простоев. Предложено повышать износостойкость и ресурс валов СН путем восстановления их рабочих поверхностей комбинированным способом нанесения защитных покрытий, который заключается в электроконтактным припекании (ЭКП) предварительно сформированных газопламенным напылением порошковых слоев из самофлюсующихся сплавов на основе никеля. Износостойкость восстановленных поверхностей валов СН повысилась в 2,5-5 раза по сравнению с поверхностями, восстановленными по технологии газопламенного напыления, и в 1,5-1,7 раза по сравнению с новыми валами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин А. А. Судостроение и судоремонт: Сборник научных трудов. С.-Петербург. гос. ун-т вод. коммуникаций. СПб: Изд-во СПбГУВК 2000. – 189 с.
2. Ремонт речных судов. Справочник / Ю. К. Аристов, Ф. Ф. Бенуа, А. А. Вышеславцев и др.: под ред. А. Ф. Видецкого. – М.: «Транспорт», 1988. – 431 с.
3. Раппопорт Л. И., Чапкис Д. Т. Техническое обслуживание судов. М.: Транспорт, М.: 1972. – 168 с.
4. Певзнер Б. М. Насосы судовых установок и систем. Л.: Судостроение, 1971. – 383 с.
5. Будов В. М. Судовые насосы: Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. – 432 с.
6. Сторожев, В. П. Восстановление деталей судовых технических средств / В. П. Сторожев // Серия «Судоремонт» 1990. – Вып. 1(17) – С. 1-60.
7. Тилипалов В. Н. Ремонт машин: технологии, эффективность, прогнозирование / Тилипалов В. Н., Схиртладзе А. Г., Минаков А. П. и др. / – Калининград: изд-во КГТУ, 2005. – 315 с.
8. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
9. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
10. Бочкарев В. Н., Яхьяев Н. Я. Технологическая наследственность в управлении качеством судовых машин и механизмов. Монография. Дагестанский филиал АН СССР. Махачкала, 1990. – 200 с.
11. Половинкин В. Н. Новые высокие технологии на пути к внедрению в судостроении. Успехи ожидаемые и неожиданные / Материалы конференции. СПб.: «Моринтех», 2001. С. 9-10.

-
12. Нахимович Е. Комплексный подход к решению задач по повышению долговечности и износостойкости материалов и деталей машин / Е. Нахимович // Трение, износ и смазка. – 2003 – 5, № 4. – С. 61-64.
 13. Пантелеенко Ф. И. Новое в восстановительно-упрочняющих технологиях. Производство и ремонт машин: Сб. матер. Междун. науч-техн. конф., Ставрополь, 28 февр.-6 марта, 2005. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС». 2005, С. 58-63.
 14. Семькин В. Н., Золототрубова Ю. С., Проценко В. Н. Обзор современных способов восстановления деталей машин. Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении: Меж. вуз. сб. науч. трудов. Воронеж. гос. тех. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2004, С. 82-86.
 15. Кондратьев В. А., Кондратьев М. В. Классификация видов технологических процессов восстановления деталей. Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: Меж. сб. науч. трудов. Вып. 4. Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ 2005, С. 32-34.
 16. Кочергин К. А. Сварка давлением. – Л.: Машиностроение, 1972 – 272 с.
 17. Сварка трением. Справочник / В. К. Лебедев, И. А. Черненко и др. – Л.: Машиностроение, 1987. - 236 с.
 18. Современные достижения в области нанесения защитных и упрочняющих покрытий / Борисов Ю. С. // Порош. металлургия (Киев). – 1993. – № 7. С. 5-14.
 19. Интегрированный банк данных по защитным покрытиям / Борисов Ю. С., Бернадский В. Н., Овсиенко А. В., Соляник Т. Н., Пашина Н. В. // Современ. достиж. в обл. техн. и применения газотерм. и вакуум. покрытий. АН УССР. Ин-т электросварки. – Киев, 1991. – С. 102-107.
 20. Черновол М. И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1992. – 79 с.
 21. Дубчак В.С. Опыт Мурманского СРЗ по восстановлению деталей методами газотермического напыления./В.С. Дубчак. – В/О «Мортехинформреклама», серия «Судоремонт», вып.20, Москва, 1987, С. 1-10.
 22. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. М.: Машиностроение, 1985. – 239 с.
 23. Корнев А. Б. Разработка стратегии ремонта трибосопряжений крупногабаритных деталей с применением газотермического напыления в судоремонтном производстве: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.08.04 / Корнев Андрей Борисович. Н. Новгород, 2006. – 23 с.
 24. Харламов Ю.А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю.А. Харламов //Тяжелое машиностроение-2000 №2. – С. 10-13.
 25. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Обзор. Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление. Мchedлов С.Г. Свароч. пр-во. 2007, № 10, С. 35-45, 63.
 26. Бороненков В. Н., Коробов Ю. С. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. Екатеринбург: УрГУ; Екатеринбург: Унив. изд-во. 2012, 267 с.
 27. Лопата Л. А., Лопата В. М., Медведева Н. А., Туник Т. М. Дослідження відновлення автомобільних деталей типу «вал» електродуговою металізацією. Збірник наукових праць «Конструирование и технология производства с/х машин» – Кіровоград: КНТУ. 2005. – Вип. № 35 – С. 409-416.
 28. Пономарев А. И. Разработка технологии восстановления поверхностей качения электроконтактной наваркой проволокой: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Моск. гос. техн. ун-т, Москва, 2004, 16 с.
 29. Черновол М. И., Лопата Л. А., Красота М. В. Получение износостойких покрытий электроимпульсным припеканием композиционных порошков / Тезисы докладов конференции «Композиционные материалы в промышленности», Киев: Институт сверхтвердых материалов НАН Украины. –1999. С. 194.
 30. Лопата Л. А., Златопольський Ф. Й., Красота М. В. Спосіб зміцнення поверхонь електроімпульсним припеканням композиційних зносостійких покриттів // Проблеми підвищення надійності та довговічності машин. Збірник наукових праць., Кіровоград, КІСМ, 1996, С. 32-38.
 31. Витязь П. А. Теория и практика газопламенного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, Е. Д. Манойло и др. Наука и техника, Минск – 1993. 294 с.

-
32. Восстановление вала насоса газопламенным напылением. Instandsetzen einer Pumpenwelle durch Flammspritzen. Smolka K. "Praktiker", 1985, 37, № 9, 471, 474, 479.
 33. Теоретические и технологические перспективы создания новых комбинированных способов нанесения защитных покрытий / Дорожкин Н. Н.: Минск, 1990. – С. 3.
 34. Лопата Л. А., Красота М. В. Поєднання процесів електроконтактного припикання порошків і теплового пластичного деформування // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – Київ, НТУ, 2001. – вип. 12, с.79-86.

Кожевникова Є.Є., Агєєв М.С., Чиграй С.Л.

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ СУДНОВИХ НАСОСІВ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ

Розглянуті причини виходу з ладу суднових насосів, які є найпоширенішими механізмами на судах. Дослідженнями зносу деталей суднових насосів встановлено, що в першу чергу існує потреба у відновленні поверхонь найбільш поширених деталей, що часто виходять з ладу, таких як вали. Для вибору методу відновлення і підвищення ресурсу валів СН встановлені причини і характер їх пошкоджень, основні види зносу, що впливають на вибір способу відновлення. Представлена характеристика існуючих методів відновлення. Запропоновано підвищувати зносостійкість і ресурс валів СН шляхом відновлення їх робочих поверхонь комбінованим способом нанесення захисних покриттів, який полягає в електроконтактному припиканні (ЕКП) заздалегідь сформованих газополуменевим напленням порошкових шарів із сплавів на основі нікелю, що самофлюсуються.

Ключові слова: суднові насоси, вали суднових насосів, ресурс, відновлення, знос, комбінований метод нанесення покриття, електроконтактне припикання, газополуменеве наплення.

Kozhevnikova O., Ageev M., Chigraya S.

INCREASES OF RESOURCE OF SHIP PUMPS ON BASIS OF THE COMBINED TECHNOLOGY OF RENEWAL

Reasons are considered of death of ship pumps which are the most widespread mechanisms on courts. It is set researches of wear of details of ship pumps, that above all things exists requirement in renewal of surfaces of the most widespread and often falling out details, such as billows. For the choice of method of renewal and increase of resource of billows of SN reasons and character of their damages, basic types of wear, influencing at choice method renewals are set. ship pumps, billows of ship pumps, resource, renewal, wear, combined method of overcoating. elektrokontaktoe burning, flame spraying. Short-story description is presented to the suschestvuyushim methods of renewal. It is suggested to promote wearproofness and resource of billows of SN by renewal of their workings surfaces the combined method of causing of sheeting, which consists in elektrokontaktnym burning (EKP) preliminary sformovannykh the flame spraying of powder-like layers from self-fluxing alloys on the basis of nickel.

Keywords: ship pumps, billows of ship pumps, resource, renewal, wear, combined method of overcoating. elektrokontaktoe burning, flame spraying.